

UPROSZCZONY MODEL OBLICZEŃ ZAPOTRZEBOWANIA ENERGII NA CHŁODZENIE BUDYNKÓW UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ

Grzegorz HOŁOTA^{*}, Kazimierz WOJTAS^{**}

^{*}Instal-Klima-Projekt Sp. z o.o.
ul. Kordylewskiego 11, 31-547 Kraków.

^{**}Politechnika Krakowska, Instytut Inżynierii Ciepłej i Ochrony Powietrza
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, e-mail: kaz_wojtas@o2.pl

Streszczenie: W pracy przedstawiono uproszczony sposób obliczeń zapotrzebowania energii chłodniczej na potrzeby klimatyzacji budynku użyteczności publicznej, który pozwala projektantowi na stosunkowo szybką ocenę projektowanego systemu klimatyzacji pod względem energetycznym. Oryginalność metody polega na sposobie obliczeń zysków ciepła jawnego dla budynku (strefy) oraz na metodzie jego przeliczania na zapotrzebowanie całkowitej wydajności chłodniczej w danej godzinie pracy systemu klimatyzacji. Ogólna dostępność kompletnych danych klimatycznych stwarza możliwość wykonania stosunkowo dokładnych obliczeń w układzie godzinowym z wykorzystaniem arkusza kalkulacyjnego dostępnego na każdym komputerze.

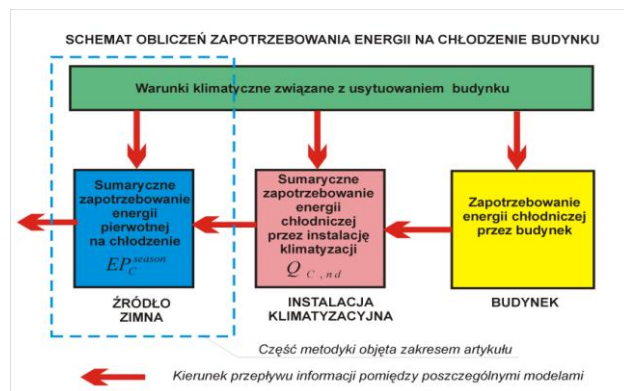
Słowa kluczowe: ciepło jawne, ciepło całkowite, zyski ciepła, wydajność chłodnicza, energia chłodnicza.

1. WSTĘP

Intensywne wdrażanie Dyrektywy dotyczącej certyfikacji energetycznej budynków [1] budzi ciągle wiele dyskusji. Generalnie można stwierdzić, że o ile metodologia obliczeń zapotrzebowania energii do celów grzewczych nie stanowi dużego problemu to proponowany w rozporządzeniu [2] sposób obliczeń energii niezbędnej do chłodzenia budynków wydaje się nie odzwierciedlać rzeczywistej złożoności procesów klimatyzacyjnych, z jakimi mamy do czynienia w budynku, szczególnie, jeżeli chodzi o tzw. budynki użyteczności publicznej. Obecnie pojawia się na rynku wiele narzędzi wspomagających tego typu obliczenia, z których większość opiera się na normie PN-EN 13790 [3] szczególnie w zakresie zagadnień związanych z ogólnie pojętą fizyką budowlą. Jednak tylko niewiele z nich kładzie odpowiedni nacisk na sposoby realizacji procesów uzdatniania powietrza adekwatnie do przyjętego rozwiązania systemu klimatyzacji. Na wyróżnienie zasługuje w tym względzie metodologia

opracowana przez zespół z Politechniki Warszawskiej [4]. W artykule poniżej zaprezentowano podstawowe założenia do modelu obliczeniowego wraz z uzasadnieniami oraz analizą przypadku projektowego.

2. PODSTAWOWE ZAŁOŻENIA ALGORYTMU OBLICZENIOWEGO



Rys. 1. Podstawowe składniki obliczeń zużycia energii pierwotnej na cele chłodzenia

Fig. 1. Block model of the stages for building energy requirements for cooling

Podstawowym celem zaprezentowanej procedury obliczeniowej było wyliczenie zapotrzebowania energii chłodniczej dla projektowanego budynku użyteczności publicznej w ciągu roku¹ ($Q_{c,nd}$ jak na rysunku 1) z wy-

¹ Jako energię chłodniczą należy w tym przypadku rozumieć sumę zimna dostarczanego do chłodnic powietrza znajdujących się we wszystkich urządzeniach uzdatniających powietrze na potrzeby klimatyzacji budynku (strefy) w okresie jednego roku

korzystaniem narzędzi dostępnych dla projektanta w postaci ogólnie przyjętego sposobu obliczania zysków ciepła w warunkach obliczeniowych (niezbędnych do poprawnego zwymiarowania instalacji klimatyzacyjnej) [5, 6] oraz danych klimatycznych dostępnych na stronie internetowej Ministerstwa Infrastruktury [7]. Analizy zagadnienia dokonano w oparciu o przykład projektowy 10-piętrowego budynku biurowego zlokalizowanego na terenie Warszawy o sumarycznej powierzchni 7800 m².

Podstawowe dane przyjęte do obliczeń:

- obliczenia przeprowadzone metodą uproszczoną w interwałach godzinowych,
- budynek użytkowany publicznie od poniedziałku do piątku w godzinach od 8 do 18. (w obliczeniach przyjęto, że 1.01. to jest poniedziałek),
- uznano, że skoro dominującym sposobem przenikania energii od promieniowania słonecznego są przegrody przezroczyste to akumulacja ciepła w konstrukcji budynku wpływa głównie na wielkość chwilowych zysków ciepła przy stosunkowo niewielkim opóźnieniu czasowym zjawiska [5,6],
- z uwagi na przyjęty system klimatyzacji uznano, że strumień powietrza wentylacyjnego przedostający się do pomieszczenia w sposób naturalny jest pomijalny zaś strumień powietrza świeżego dostarczany przez wentylację mechaniczną (z rekuperatorem o sprawności odzysku ciepła = 50 %) wynosi 30 m³/(h*os),
- strumień powietrza uzdatnianego (nawiewanego) do każdego z pomieszczeń jest stały i wyliczany z równania bilansu ciepła jawnego w pomieszczeniach dla warunków obliczeniowych,
- system klimatyzacji zakłada recyrkulację z dostarczaniem minimalnego wymaganego strumienia powietrza świeżego do budynku,
- sposób uzdatniania powietrza w pomieszczeniach nie zakłada kontrolowanego odwilżania powietrza co oznacza, że wydajność chłodnicy jest regulowana tylko przez regulator temperatury wewnątrz pomieszczeń a w systemie klimatyzacji nie występuje podgrzewanie w nagrzewnicy wtórnej,
- chłodnice w systemie klimatyzacji są zasilane cieczą (wodą) o stałej temperaturze.

Strumienie zysków ciepła dla budynku w warunkach obliczeniowych

Założone parametry obliczeniowe powietrza:

- zewnętrznego

$$T_z = 32 [^{\circ}C], \varphi_z = 45 [\%];$$
- w pomieszczeniu

$$T_p = 25 [^{\circ}C], \varphi_p = 50 [\%];$$

Strumień zysków ciepła od ludzi Φ_L [W] :

Ilość ludzi przyjęto w oparciu o wskaźnik: 1 os/10 m²

Strumień zysków ciepła od maszyn i oświetlenia Φ_{oc}

[W]: Przyjęto stałą uśrednioną wartość: 10 W / m²

Strumień ciepła od promieniowania $\Phi_{r.obl}$, [W]

$$\Phi_{r.obl} = \Phi_{ok,N} + \Phi_{ok,E} + \Phi_{ok,S} + \Phi_{ok,W} + \Phi_{sc} \quad (1)$$

We wzorze (1) zyski ciepła od promieniowania na przegrodę przezroczystą o orientacji X (gdzie X przyjmuje wartości N, E, S lub W) obliczano według [5]:

$$\Phi_{ok,X} = A_{ok,X} [\phi_1 \cdot \phi_2 \cdot \phi_3 \cdot (k_{c,X} \cdot R_s \cdot I_{c,max,X}) + U_{ok} \cdot (T_z - T_p)] \quad [W] \quad (2)$$

gdzie:

$A_{ok,x}$ – sumaryczna powierzchnia okien w ścianie o orientacji X, [m²]

$\phi_1 = 0,7$ współczynnik przesłonięcia okna

$\phi_2 = 1,0$ współczynnik wysokości npm

$\phi_3 = 0,65$ współczynnik uwzględniający rodzaj szkła i oddziaływanie ochron przeciwslonecznych

$U_{ok} = 1,1$ współczynnik przenikania ciepła dla okna [W / m² K]

$R_s = 1$ Udział powierzchni nasłonecznione dla okien

$k_{c,X}$ współczynnik akumulacji dla 12-godzinnej pracy urządzenia (według [5]);

$I_{c,max,N}, I_{c,max,E}, I_{c,max,S}, I_{c,max,W}$, - maksymalne wartości natężenia promieniowania na pionową powierzchnię o orientacji X.

UWAGA: przyjęto, że powyższe natężenia promieniowania całkowite występują w dniu w którym całkowite natężenie promieniowania słonecznego w danej strefie klimatycznej jest największe

Φ_{sc} - uśredniony dla danej doby strumień zysków ciepła przez ściany nieprzezroczyste, [W]

„Godzinowe” strumienie zysków ciepła jawnego dla budynku

Podstawą obliczeń zmierzających do określenia zapotrzebowania wydajności chłodniczej jawnej dla budynku w określonej godzinie pracy obiektu $\sum \Phi_{j,i}$ [W] („i” oznacza i-tą godzinę) jest rozwiązanie równania bilansu ciepła jawnego w postaci:

$$\sum \Phi_{j,i} = \Phi_{jL} + \Phi_{oc} + \Phi_{r,i} + \Phi_{ps,i} + \Phi_{strati} \quad (3)$$

gdzie:

Φ_{jL} – strumień ciepła jawnego od ludzi, [W];

Φ_{oc} – strumień ciepła od maszyn i oświetlenia, [W];

Φ_{strati} – straty ciepła przez przegrody uzależnione od temperatury zewnętrznej $T_{z,i}$, [W]

$$\Phi_{strati} = Q_{str.obl} \cdot \frac{(T_p - T_{z,i})}{(T_p - T_z)} \quad (4)$$

$\Phi_{r,i}$ – strumień zysków ciepła od promieniowania (uzależniony od całkowitego natężenia promieniowania całkowitego w danej godzinie $I_{c,i}$), [W]

$$\Phi_{r,i} = \Phi_{r,obl} \cdot \frac{I_{c,i}}{I_{c,max}} \quad (5)$$

$\Phi_{r,obl}$ – strumień zysków ciepła od promieniowania w warunkach obliczeniowych, [W]

$\Phi_{ps,i}$ – strumień ciepła od powietrza świeżego, [W]

$$\Phi_{ps,i} = \dot{V}_{ps} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{R,i} - T_p) \quad (6)$$

$\rho \cdot c_p$ – gęstość i ciepło właściwe powietrza,

$T_{R,i}$ – temperatura powietrza po wyjściu z rekuperatora ciepła (dostarczanego do pomieszczenia) w warunkach i-jej godziny pracy

UWAGA: W obliczenia w ramach prezentowanego przykładu projektowego założono również, że:

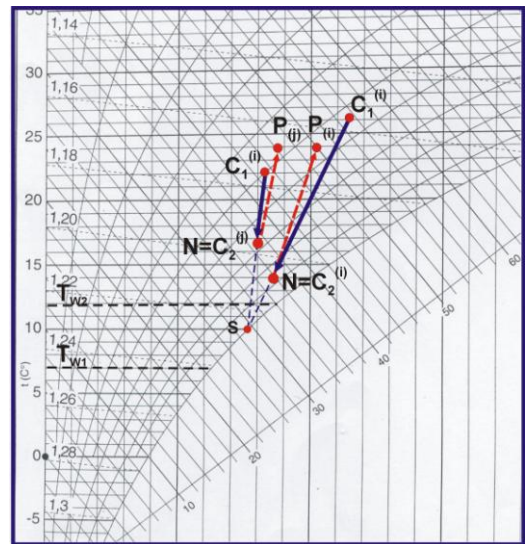
- temperatura powietrza świeżego doprowadzanego do pomieszczeń nie spada poniżej wartości +18 °C,
- jeżeli temperatura powietrza zewnętrznego spada poniżej temperatury w pomieszczeniu rekuperator ciepła przestaje pracować,
- jeżeli temperatura otoczenia spada poniżej +12 °C układ regulacji zmienia nastawę temperatury powietrza wewnątrz pomieszczeń z 25 na 20 °C.

Godzinowe zapotrzebowanie wydajności chłodniczej całkowitej przez system klimatyzacji

Wykonany w powyższy sposób godzinowy bilans ciepła jawnego w budynku (lub jego strefie) należy przeliczyć

na całkowite zapotrzebowanie wydajności chłodniczej agregatu w każdej godzinie, które jest równe sumie zapotrzebowania wydajności ciepła jawnego i utajonego (wynikającego z wykrapalającej się na chłodnicy wilgoci, co jest uzależnione od bieżących parametrów powietrza zewnętrznego oraz od zysków wilgoci występujących w budynku). W celu uzyskania tego efektu posłużono się obserwacją, iż w okresie, gdy występuje potrzeba chłodzenia budynku (potencjalnie marzec – październik) średnia wartość tzw. „współczynnika kierunkowego” przemiany uzdatniania powietrza w chłodnicy (wyznaczony przez parametry powietrza na wlocie do chłodnicy oraz temperaturę jej ścianki wyznaczaną przez temperaturę wody zasilającej chłodnicę) jest w przybliżeniu równy współczynnikowi kierunkowemu przemiany uzdatniania powietrza w pomieszczeniu w warunkach obliczeniowych (rys. 2). W obydwu przypadkach współczynnik ten jest wyrażony przez stosunek strumieni ciepła jawnego do całkowitego:

$$\varphi = \frac{\sum \Phi_{j,obl}}{\sum \Phi_{c,obl}} \quad (7)$$



Rys. 2. Kierunki przemian uzdatniania powietrza w pomieszczeniu oraz w chłodnicy (na wykresie h-X Moliera)

Fig. 2. Cooling processes in different hours of the season

W wyniku tak sformułowanego założenia zapotrzebowanie wydajności chłodniczej w i-jej godzinie pracy instalacji w budynku wynosi:

$$\Phi_{ch,i} = \frac{\sum \Phi_{j,i}}{\varphi} \quad [W] \quad (8)$$

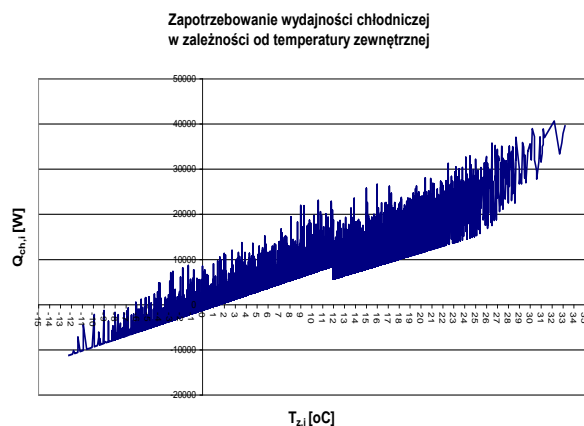
W efekcie sumaryczne zapotrzebowanie energii chłodniczej dla systemu klimatyzacji oblicza się przez sumowanie powyższych wartości dla wszystkich godzin pracy

obiektu, w których zapotrzebowanie wydajności chłodniczej jawnej jest większe od zera:

$$Q_{ch} = \sum (\Phi_{ch,i} \cdot 1) / 1000 \quad [kWh] \quad (9)$$

3. WYNIKI OBLICZEŃ DLA PRZYKŁADU PROJEKTOWEGO I WNIOSKI

Wyniki obliczeń przeprowadzonych zgodnie z przyjętym powyżej algorytmem obliczeniowym potwierdzają, zauważalną również w pratyce sytuację, iż dla współcześnie konstruowanych budynków użyteczności publicznej (dobra izolacyjność cieplna powłoki budynku, duże wewnętrzne zyski ciepła od urządzeń i użytkowników) zapotrzebowanie chłodu do celów klimatyzacji obiektu występuje również przy temperaturach powietrza zewnętrznego w okolicy zera stopnia celsjusza lub nawet poniżej (rys. 3).



Rys. 3. Wyniki obliczeń zapotrzebowania wydajności chłodniczej dla przykładu projektowego
Fig. 3. Hourly cooling demand calculations results for an example office building in Warsaw

Z powyższej obserwacji wynika również wniosek praktyczny o konieczności stosowania systemów odzysku chłodu naturalnego w systemach klimatyzacji budynków użyteczności publicznej w strefie klimatycznej w jakiej znajduje się Polska.

Globalny wynik obliczeń zapotrzebowania rocznego energii chłodniczej dla przeliczonego przykładu projektowego w postaci

$$Q_{ch} = 35 \quad kWh/m^2$$

jest wartością nieco niższą od oczekiwanej i wymaga weryfikacji przy pomocy zawansowanego modelu typu CFD.

SIMPLIFIED CALCULATION PROCEDURE FOR SEASONAL COOLING ENERGY DEMAND IN PUBLIC BUILDINGS

Summary: The European Directive [1] implementation in Poland made a substantial confusion in the HVAC engineers society. The calculation procedure for energy use for cooling season is said to be not adequate to the reality, particularly for public buildings. The authors made a step forward to define simplified hourly model for these calculations based on real climatic data and sensible heating gain in building (or its zone) and subsequent evaluation of total cooling demand for each hour of the cooling season

Literatura

- [1] Dyrektywa 2002/91/EC Parlamentu Europejskiego i Rady z 16 grudnia 2002 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków
- [2] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury „w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej” z dnia 6.11.2008
- [3] PN-EN 13790, 2007, “Charakterystyka energetyczna budynków. Obliczenia zapotrzebowania energii na cele grzania i chłodzenia” (Thermal performance of buildings — Calculation of energy use for space heating and cooling),
- [4] Majakowski M, - *Konsekwencje energetyczne procesów uzdatniania powietrza i sposób ich uwzględnienia w metodyce obliczania charakterystyki energetycznej budynków*, Forum Polska Wentylacja, Salon Klimatyzacja, 2009
- [5] Malicki M. „Klimatyzacja”, PWN 1980
- [6] Recknagel, Sprenger, Hönnmann, Schramek. „Ogrzewanie i klimatyzacja”, EWF - Wydanie 1, Gdańsk 1994/1995.
- [7] www.mi.gov.pl
- [8] Wojtas K, Cieśla K. “Komfort wewnętrzny w świetle zapotrzebowania energii przez system klimatyzacji”, „Chłodnictwo i Klimatyzacja” - 10/2007.
- [9] Wojtas K. „Simplified Model of Seasonal Energy Consumption by Air Conditioning System in Non Residential Buildings”, CLIMA 2007, Helsinki
- [10] Wojtas K. “Efektywność energetyczna sprężarkowych agregatów ziębniczych w klimatyzacji”, „Chłodnictwo i Klimatyzacja” - 7/2008.